

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Hořáková sekce laboratorní pece se zařízením pro
dopravu vsázky**

**Burner Branch Laboratory Smeltery Arrangement
for Transport Charge**

Student:

Michal Chuchma

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Noga, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hořáková sekce laboratorní pece se zařízením pro dopravu vsázky

Burner Branch Laboratory Smeltery Arrangement for Transport Charge

Student: Michal Chuchma
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 2302R010-20 Výrobní stroje a zařízení
Pracoviště: Katedra výrobních strojů a konstruování – 340

Zásady pro zpracování:

Pro potřebu laboratoří FMMI navrhnete hořákovou sekci polo-kontinuální laboratorní pece s vychlazovacím boxem pro tavení a rafinaci neželezných kovů. Při zpracování 3D konstrukčního návrhu vycházejte z jeho stávajícího provedení. Pozornost věnujte zejména zabezpečení žádaného chlazení hořákové sekce, přívodu a odvodu chladící kapaliny, možnostem sledování procesu tavení vsázky a zařízení pro podávání vsázky.

Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění požadavkový list, funkční, orgánová a stavební struktura.
2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení
3. Výrobní výkres hořákové sekce včetně podavače vsázky.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 22. května 2009

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Plné jméno

Adresa trvalého pobytu :

Zátiší 653
763 31 Brumov-Bylnice
Česká republika

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Chuchma, M. Hořáková sekce laboratorní pece se zařízením pro dopravu vsázky. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 36 s. Bakalářská práce, vedoucí Noga, Z.

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení hořákové sekce polo-kontinuální laboratorní pece a podávacích zařízení. Hlavní důraz je kladen na správné chlazení pláště hořákové sekce, přívod a odvod chladicí kapaliny, možnostem sledování procesu tavení, měření vstupních a výstupních parametrů a úhlového nastavení podávacích zařízení. V úvodní části se zabývá seznámením s plazmovými technologiemi a plazmovými generátory. V dalších kapitolách obsahuje technickou zprávu s popisem funkcí navrženého zařízení ve členění – požadavkový list, funkční struktura, orgánová struktura a stavební struktura. V poslední části se zabývá nezbytnými výpočty pro správné fungování zařízení.

ANNOTATION OF THESIS

Chuchma, M. Burner Branch Laboratory Smeltery Arrangement for Transport Charge. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2007, 36 p. Bachelors work, leader Noga, Z.

This bachelor thesis presents structural design of burner section of a semi-continuous laboratory furnace and its feeding devices. The thesis accentuates correct cooling of the burner section case, cooling fluid inlet and outlet, possibilities to watch the melting process, measuring of the input and output parameters and angular alignment of the feeding devices. The opening chapter introduces plazma technologies and plazma generators, the subsequent chapters contain technical report with description of functions of the device proposed in four sections: requirement list, functional structure, apparatus structure, constructional structure. The last section addresses the required calculations for correct operation of this equipment.

OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Literární rešerše.....	4
2.01 Plazma.....	4
2.02 Dělení plazmových generátorů.....	4
2.03 Vysokofrekvenční indukční plazma.....	5
2.04 Úprava práškových částic.....	6
2.05 Karbidy wolframu.....	6
2.06 Oxidy kovů.....	7
2.07 Neodym, železo a bor.....	8
2.08 Nanokrystalické povlaky z oxidu titanu.....	8
3. Členění dle metodického konstruování.....	8
3.01 Požadavky na hořákovou sekci.....	8
3.02 Požadavky na podávací zařízení.....	9
3.03 Schéma technického systému.....	10
3.04 Funkce technického systému.....	10
3.05 Funkční struktura-blokové schéma.....	11
3.06 Orgánová struktura-morfologická matice.....	12
3.07 Stavební struktura-hrubá stavební struktura (předběžný návrh).....	13
3.08 Stavební struktura-úplná stavební struktura (konstrukční návrh).....	14
4. Výpočet chlazení pláště hořákové sekce.....	16
4.01 Základní bilanční rovnice.....	16
4.02 Hmotnostní tok vody.....	17
4.03 Průřez chladicího kanálu.....	17
4.04 Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu.....	17
4.05 Teplota výstupní chladicí vody.....	18
4.06 Součinitel přestupu tepla.....	18
4.07 Reynoldsovo číslo.....	19
4.08 Hydraulický průměr kanálu.....	19
4.09 Teplota vnější stěny pláště.....	21
4.10 Teplota vnitřní stěny pláště.....	23
4.11 Kontrola chlazení pomocí bilanční rovnice.....	24
5. Výpočet chlazení víka hořákové sekce.....	24

5.01 Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu.....	25
5.02 Teplota výstupní chladicí vody.....	25
5.03 Součinitel přestupu tepla.....	25
5.04 Teplota vnější stěny pláště.....	26
5.05 Teplota vnitřní stěny pláště.....	26
5.06 Kontrola chlazení pomocí bilanční rovnice.....	27
6. Výpočet tlakových ztrát.....	28
6.01 Schéma rozvinutého pláště s chladícím kanálem.....	28
6.02 Výpočet celkové tlakové ztráty.....	28
6.03 Výpočet třecích ztrát.....	29
6.3.1 Stanovení součinitele tření.....	29
6.3.2 Výpočet tlakové ztráty třením.....	29
6.3.3 Tlaková ztráta místními odpory.....	30
6.3.4 Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem.....	31
6.3.5 Ztráta v kolenu s ostrým ohybem 90°.....	31
6.04 Celková tlaková ztráta.....	32
7. Závěr.....	33
8. Seznam použité literatury.....	34
9. Přehled použitých veličin a jednotek.....	34
10. Přílohy.....	35
11. Seznam obrázků.....	36

1. Úvod

Na katedře neželezných kovů FMMI VŠB-TU Ostrava je provozována laboratorní plazmová pec pro tavení titanových slitin, která již nesplňuje požadavky na ni kladené. Proto byl dán požadavek na návrh nového zařízení. Mým úkolem je proto navrhnout hořákovou sekci polo-kontinuální plazmové pece s vychlazovacím boxem pro tavení a rafinaci neželezných kovů.

V této práci bych se měl především zaměřit na navržení hořákové sekce a podávacích zařízení. U hořákové sekce jsem vycházel ze stávající dolní stavby a jejích připojovacích rozměrů. Hlavním problémem hořákové sekce je zajištění správného chlazení pláště, neboť zařízení vyzařuje velkou energii. To zajistím navržením chladicího kanálu, kterým bude proudit chladicí kapalina kolem vychlazovaného pláště a zajistí, že jeho teplota nepřekročí povolené meze. Správný průtok chladicí kapaliny bude zajištěn regulačním ventilem na vstupu chladicí vody a na výstupu bude kontrolován její průtok a teplota.

U podávacího zařízení jsem se zaměřil hlavně na jeho vertikální polohovatelnost a možnost nastavení výšky vodících lišt pro vedení ingotu. V horní části podávacího zařízení bude umístěn otvor pro odvod ochranné atmosféry a zároveň bude umístěn kyslíkový analyzátor pro kontrolu obsahu kyslíku který je při tavení nežádoucí a jeho výskyt by mohl zařízení poškodit. Posuv ingotu je zajištěn přes kloubové uchycení, které je připojeno na pohybový šroub lineárního aktuátoru. Dále na zařízení vhodně umístím kameru pro sledování procesu tavení a IR teploměr pro kontrolu teploty v daném místě.

Všechny měřicí, kontrolní a regulační prvky celého zařízení budou napojeny na PC, kde se budou ukládat průběžně všechny měřené hodnoty ke kontrole a vyhodnocení.

2. Literární rešerše

2.01 Plazma

-^[1]je považováno za čtvrtý stav látky s posloupností: pevná fáze, kapalina, plyn, plazma. Plazma je zpravidla tvořeno kladnými ionty a elektrony. Kladné ionty mají jen jeden elementární náboj. V úplně ionizovaném plazmatu jsou všechny částice ionizovány. Na rozdíl od plynu má plazma velkou tepelnou kapacitu i vodivost a podléhá účinkům elektrického i magnetického pole. Teplota částečně ionizovaného plazmatu činí 5 až 15 kK a plně ionizovaného plazmatu až 100 kK. Střední energii plazmatu lze vyjádřit v elektronvoltech (eV), přičemž platí:

$$1 \text{ eV} = 11,6 \text{ kK} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Závislost mezi kinetickou energií elektronu a jeho teplotou lze vyjádřit vztahem:

$$U_e = 0,5mv^2 = 1,5kT$$

kde m je hmotnost elektronů, v rychlost elektronů, U_e energie plazmatu, T teplota plazmatu a k Boltzmanova konstanta ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$).

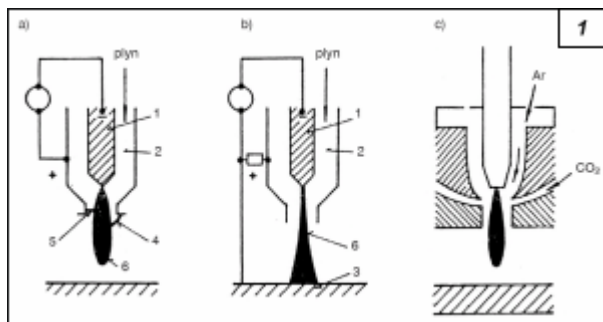
2.02 Dělení plazmových generátorů

[1]

-plazmové generátory s elektrodami

-plazmové generátory s vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem

[1]



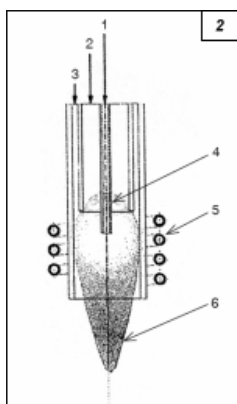
Obr.1 Principiální schéma plazmových generátorů s elektrodami(1-wolframová tyčová katoda, 2-měděná anoda s vodním chlazením, 3-zpracováváný materiál, 4-vnější anoda, 5-vnitřní anoda, 6-plazma

U generátorů s elektrodami vzniká plazma mezi dvěma elektrodami připojenými na stejnosměrný zdroj (obr. 1). Elektrody jsou obvykle z wolframu, pracovním plynem je kyslík. Na obr. 1a je plazmový generátor s vyfukovaným výbojem a přímým připojením na stejnosměrný zdroj, na obr. 1b plazmový generátor se stejnosměrným zdrojem paralelně připojeným na anodu a zpracovávaný materiál, na obr. 1c plazmový generátor se samostatným přívodem pomocného plynu (argonu) a pracovního plynu (CO_2 , H_2 , N_2). Tyto generátory se běžně používají při nanášení materiálu, svařování a řezání. Přídavný materiál je přiváděn ve formě prášku nebo drátu. Elektrody jsou však také zdrojem nečistot, a proto tyto generátory nejsou vhodné pro technologie, kde je vyžadována vysoká čistota. Téměř s absolutní čistotou pracují vysokofrekvenční indukční generátory, tzv. **plazmatrony**.

2.03 Vysokofrekvenční indukční plazma

[1]

Vysokofrekvenční indukční plazma (ICP – Inductivity Coupled Plasma) je moderní metoda rozkladu vzorku a excitace atomů pomocí plazmatu, která zaručuje vysokou čistotu výroby. Tato technologie se prosazuje zejména v průmyslu, ale i ve veřejné a občanské oblasti. Uplatňuje se při vytváření potahů z plastů, při svařování armatur, úpravě povrchů ocelových plechů, při vývoji nových materiálů, zlepšování jejich vlastností, povrchové úpravě, recyklaci materiálů, zpracování odpadu a v medicínském oboru při dezinfekci a likvidaci nemocničních odpadů. Obecné uplatnění plazma nachází v osvětlovacích a informačních systémech a při ozonové úpravě vody. Důležitý význam má plazma s teplotou nad 10 kK (tzv. vysokoteplotní plazma) při tavení materiálů s vysokou teplotou tání.



[1]

Obr. 2. Princip plazmatronu (1 – pracovní plyn, 2 – centrální plyn, 3 – obalový plyn, 4 – přívodní trubka pracovního prášku, 5 – indukční cívka na obalové rouře, 6 – tryska plazmatu)

Na obr. 2 je zobrazen princip vysokofrekvenčního indukčního plazmatronu. Dopravní (pracovní) plyn (1) a obalový plyn (3) mají samostatné přívody oddělené od roury s centrálním plynem (2).

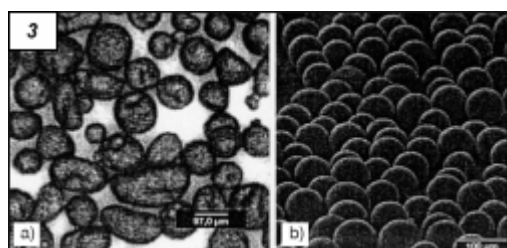
Obalová roura firmy TEKNA Plasma Systems Inc. (tab. 1 plazmatron 1) je keramická s vodním chlazením. Ohraničuje prostor plazmatu a odděluje od sebe přiváděné plyny. Na obalové rouře je epoxidovou pryskyřicí upevněna indukční cívka. Firma FG Plasma- und Oberflächentechnik (tab. 1 plazmatron 2) používá pro přívod centrálního a obalového plynu rouru z křemenného skla. To umožňuje sledování plazmatu i dráhy práškových částic v něm.

2.04 Úprava práškových částic

[1]

Pro mnoho aplikací v praxi jsou vhodnější kulovitě upravené částice. Používají se např. jako plnivo pro taveniny, pro výrobu filtrů a porézní keramiky. Kulovité částice z tvrdých kovů mají vyšší odolnost proti otěru než zlomkovité částice a jsou výhodnější i při nanášení stříkáním. Vyrábějí se obvykle rozprašováním taveniny tryskou. Dalším zpracováním ve vysokoteplotní plazmě se všechny částice stávají téměř kulovitými.

Obr. 3. Výroba wolframových kulovitých částic a) výchozí prášek, b) kulovité částice



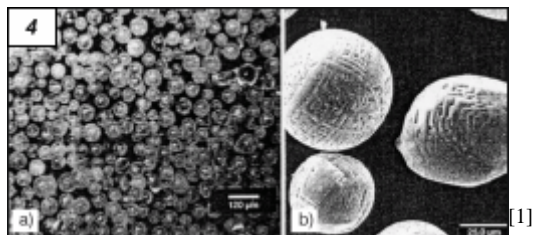
[1]

2.05 Karbidy wolframu

[1]

Karbidy wolframu patří do skupiny tvrdých kovů. Termodynamicky stabilní je wolframmonokarbid (WC) a wolframdikarbid (W_2C). Pro technické účely je velmi vhodný tavený wolframkarbid, složený z wolframu a wolframmonokarbidu se zrnky o průměru 2 μm . Výroba wolframových kulovitých částic je naznačena na obr. 3. Tyto částice se vyrábějí ve vysokoteplotním plazmovém reaktoru s ochranou atmosférou. Zpracovává se přiváděný prášek o celkové hmotnosti asi 2,5 kg.

Obr. 4. Zpracování oxidu hliníku Al_2O_3 na kulovité částice a) výchozí prášek, b) kulovité částice

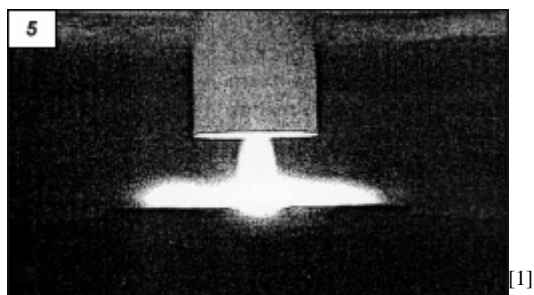


2.06 Oxidy kovů

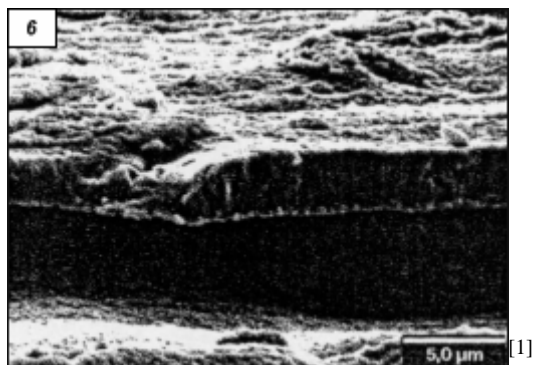
[1]

Oxidy kovů se obvykle vyrábějí pouze v normální atmosféře. Zpracování oxidu hliníku (Al_2O_3) na kulovité částice je znázorněno na obr. 4. Velikost kulovitých částic přesahuje 70 μm

Obr. 5. Výroba nanokrytalického povlaku vysokofrekvenčním indukčním plazmatronem



Obr. 6. Řez základního substrátu s nanokrytalickým povlakem TiO_2



2.07 Neodym, železo a bor

[1]

Spojením těchto prvků vznikají permanentní magnety s vynikajícími vlastnostmi. Sloučenina $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ má nejvyšší měrnou energetickou hodnotu BH_{max} ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$). Nachází široké uplatnění v elektrických strojích a zařízeních. Úprava prášku těchto sloučenin pro aplikace ve vysokofrekvenčním indukčním plazmatronu umožňuje nanášení vrstev z permanentních magnetických materiálů na miniaturní akční členy.

2.08 Nanokrystalické povlaky z oxidu titanu

[1]

Povlaky z nanokrystalického oxidu titanu TiO_2 (obr. 6) se vytvářejí rozprašováním kulových částic o průměru asi 30 nm ve vysokofrekvenčním indukčním plazmatronu. Přísady bývají směsí kovů a organických látek. Oxid titanu se v plazmě mění na plyn, je disociován a ionizován. Do obalového plynu se přidává v dostatečné míře kyslík, aby došlo k úplnému zplynění všech nanočástic TiO_2 . Plazmatron je přírubou připojen k reaktoru, kde se plazma prudce rozpíná a vystupuje nadzvukovou rychlostí dýzou o průměru asi 5 mm (obr. 5). Na povrchu základového materiálu (substrátu) se vytváří nanokrystalický povlak. Protože rychlost plazmy po výstupu z dýzy prudce klesá, musí být substrát ve velmi malé vzdálenosti od reaktoru (do 3 mm). Chladicí systém udržuje teplotu substrátu během vytváření povlaku na 600 °C.

3. Členění dle metodického konstruování

3.01 Požadavky na hořákovou sekci

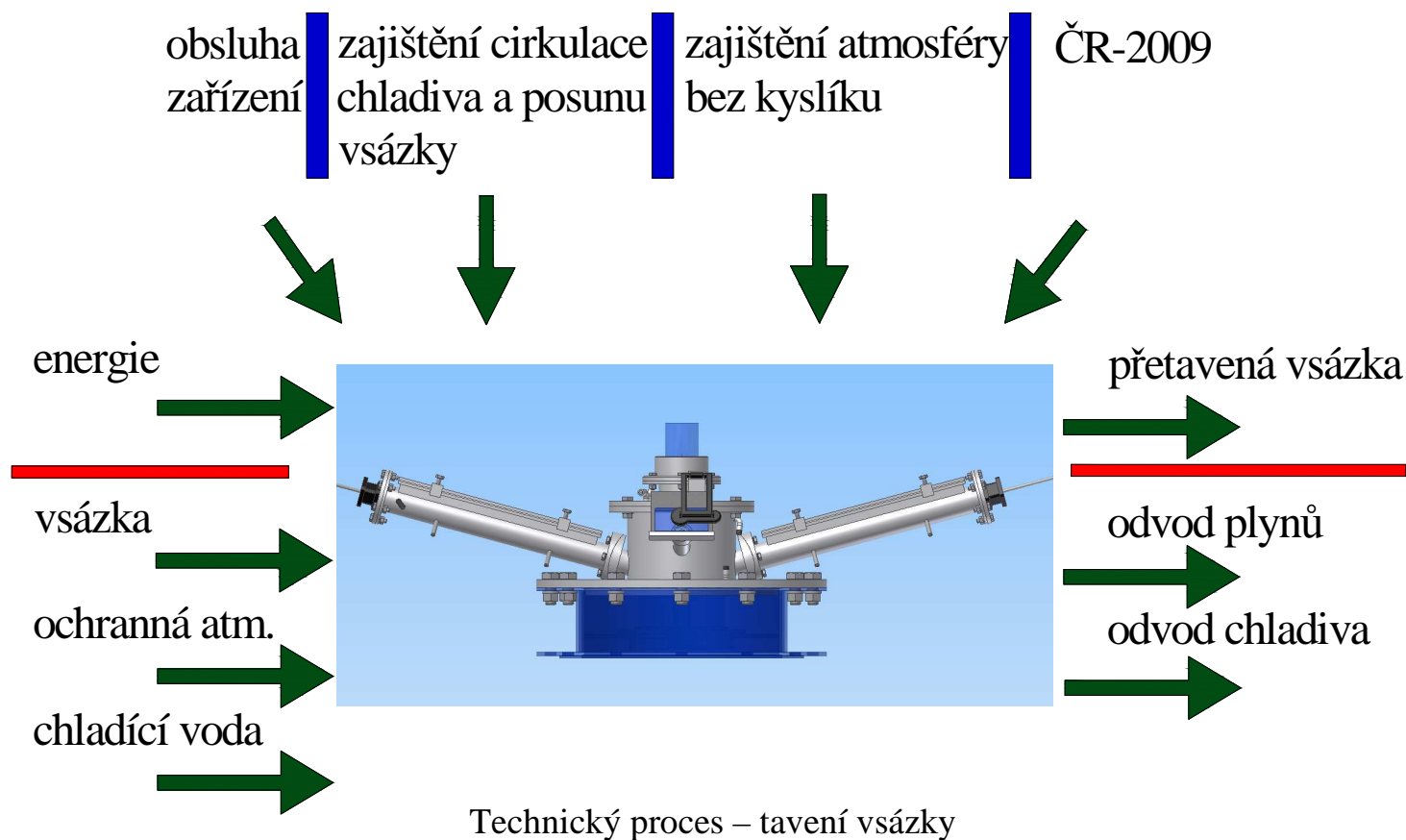
- výkon plazmového zdroje 60kW
- vnitřní plášť hořákové sekce co nejbližší k hořáku
- účinné chlazení vnitřního pláště
- max. teplota odcházející chladicí vody 40°C
- chladicí voda nesmí vřít

- zkonstruování nahlížečího otvoru pro IR teploměr
- zkonstruování nahlížečího otvoru pro webkameru
- zajištění atmosféry bez přístupu kyslíku
- účinný přívod a odvod ochranné atmosféry (argon)
- montáž kyslíkového analyzátoru na odvodu ochranné atmosféry
- elektroizolace plazmového hořáku od konstrukce pece
- možnost výškového nastavení hořáku
- materiál pláště –měď nebo nerez
- umístění 2 protilehlých podavačů vsázky

3.02 Požadavky na podávací zařízení

- uchycení podavače k tělesu hořákové sekce s možností jeho vertikálního nastavení
- možnost výškového nastavení vedení vsázky
- možnost jednoduchého uchycení vsázky k závitové tyči aktuátoru
- využití 2 lineárních aktuátorů k dopravě vsázky
- závitová tyč aktuátoru se nesmí ohýbat
- v horní části podavače musí být umístěn odvod ochranné atmosféry
- musí být zajištěno jednoduché otevření komory podavače

3.03 Schéma Technického Systému



Obr.7 Schéma technického systému

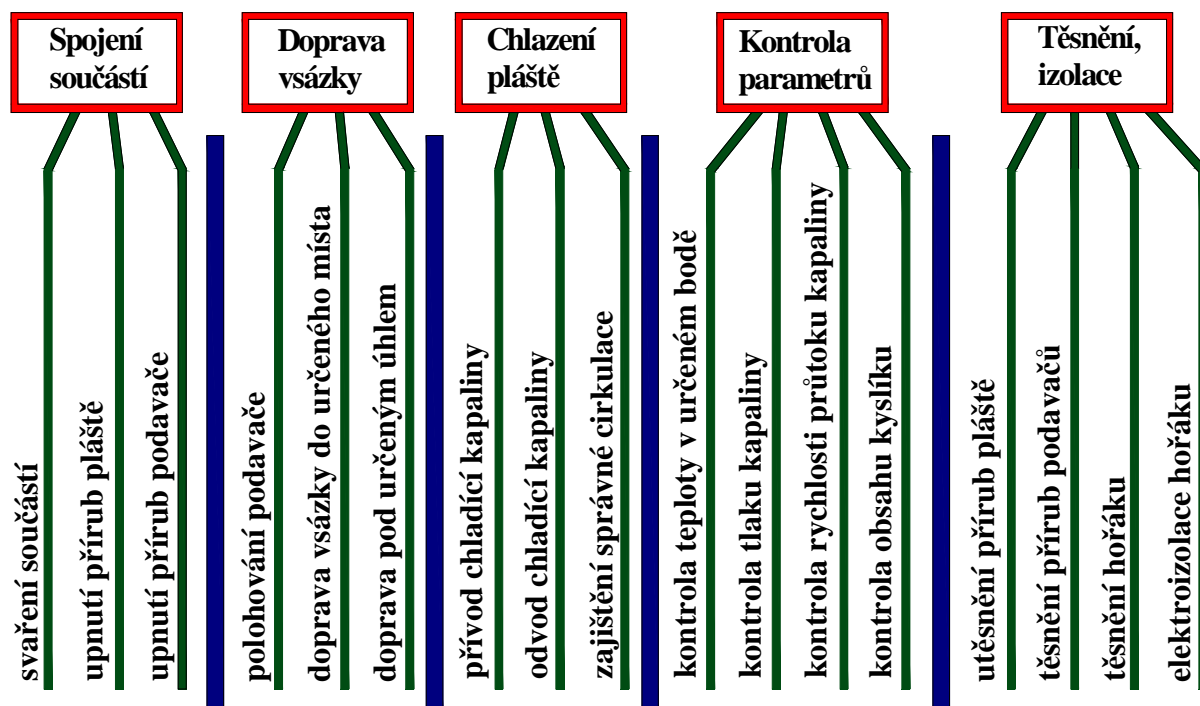
3.04 Funkce technického systému

- Upnutí příruby pláště ke krystalizátoru
- Upnutí příruby podavače
- Upnutí příruby s hořákem
- Náklon podavače
- Nastavení vedení vsázky
- Pohon podavače

- Vedení chlazení
- Vstup/výstup vody
- Zajištění cirkulace vody
- Zajištění ochranné atmosféry
- Upnutí horní příruby
- Utěsnění hoř. Sekce
- Elektroizolace hořáku
- Kontrola tlaku chladicí vody
- Kontrola rychlosti průtoku chladicí vody
- Kontrola atmosféry
- Kontrola teploty
- Možnost seřízení průtoku

3.05 Funkční struktura – blokové schéma

Tavení vsázky



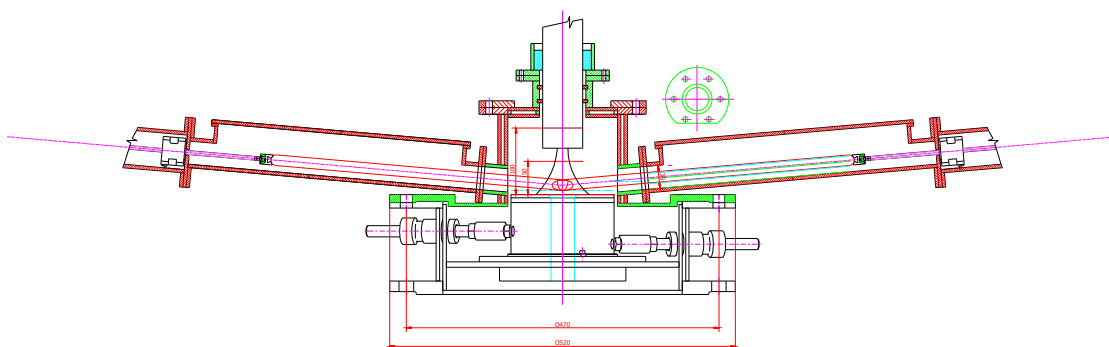
Obr.8 Funkční struktura-blokové schéma

3.06 Orgánová struktura – morfologická matice

Dílčí funkce	funkční principy, orgány			
upnout přírubu pláště ke krystalizátoru	rychloupínáním	svarem	šroubovým spojem	
upnout příruby podavače	šroubovým spojem	svarem		
upnout přírubu s hořákem	rychloupínáním	svarem	šroubovým spojem	
naklonit podavače	přírubou s kulovou plochou	přírubou s válcovou plochou		
nastavit výškově vedení vsázky	šrouby	čepy		
pohánět podavač	hydraulicky	pneumaticky	aktuátorem	ozubeným převodem
chladit	kapalinou podél nastehovaného drátu	kapalinou dutou spirálou	vzduchem	nechladit
přivést chladicí vodu	trubkou	hadicí	tlakovou hadicí	
připojit přívod vody	rychlospojka	bezúkapová rychlospojka	šroubení	trubková koncovka
připojit hadice	hadicovou sponou	neupínat		
zajistit přívod vody	samospádem	z vodovodu	čerpadlem	

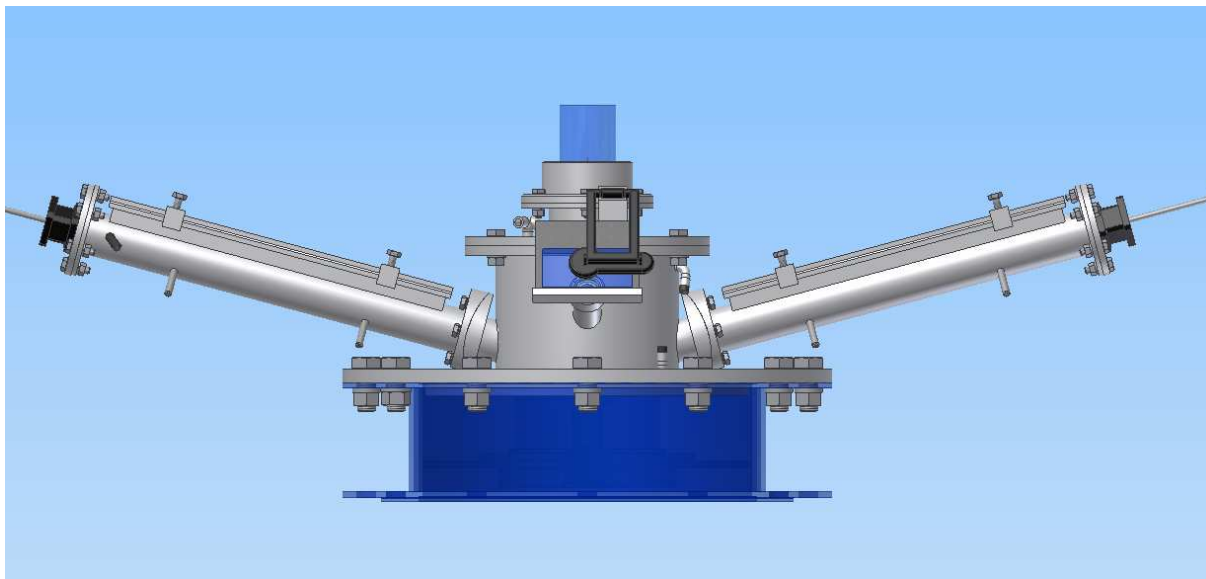
utěsnit hořákovou sekcí	silikonovým těsněním	PTFE těsněním	těsnicí pastou	
izolovat hořák	kartitem	textitem	nomexem	
kontrolovat tlak chladicí vody	digitálním tlakoměr	analogovým tlakoměr		
kontrolovat rychlost průtoku vody	turbínovým průtokoměrem	vrtulkovým průtokoměrem		
kontrolovat ochrannou atmosféru	argonovým analyzátozem	kyslíkovým analyzátozem		
kontrolovat teplotu tavení	IR teploměrem	bimetalovým teploměrem	odporovým teploměrem	
možnost seřízení průtoku kapaliny	ventilem	kohoutem		

3.07 Stavební struktura – hrubá stavební struktura (předběžný návrh)

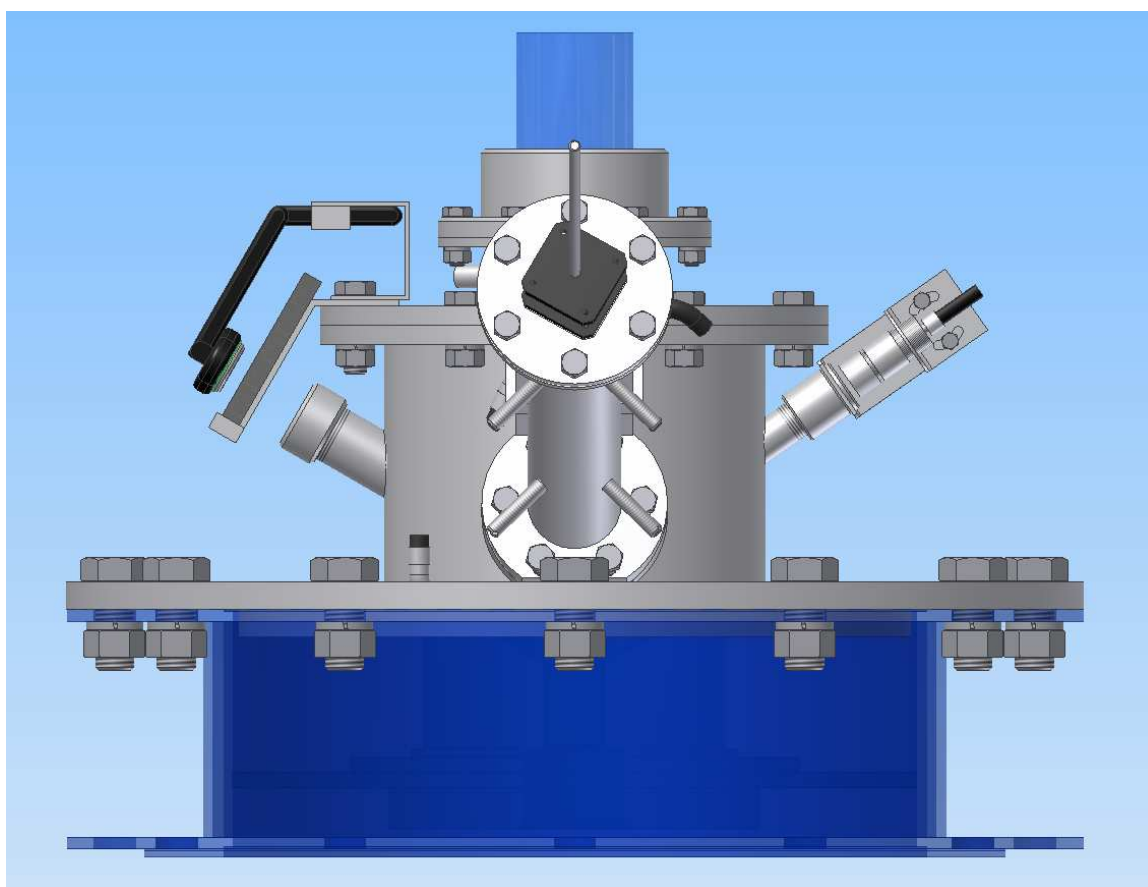


Obr.9 Hrubá stavební struktura

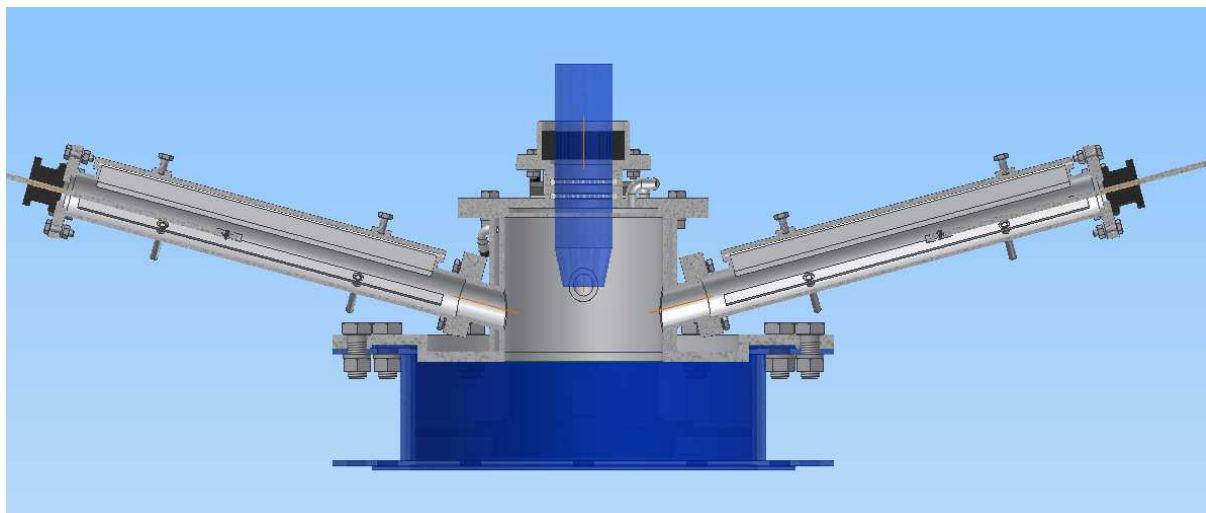
3.08 Stavební struktura – úplná stavební struktura (konstrukční návrh)



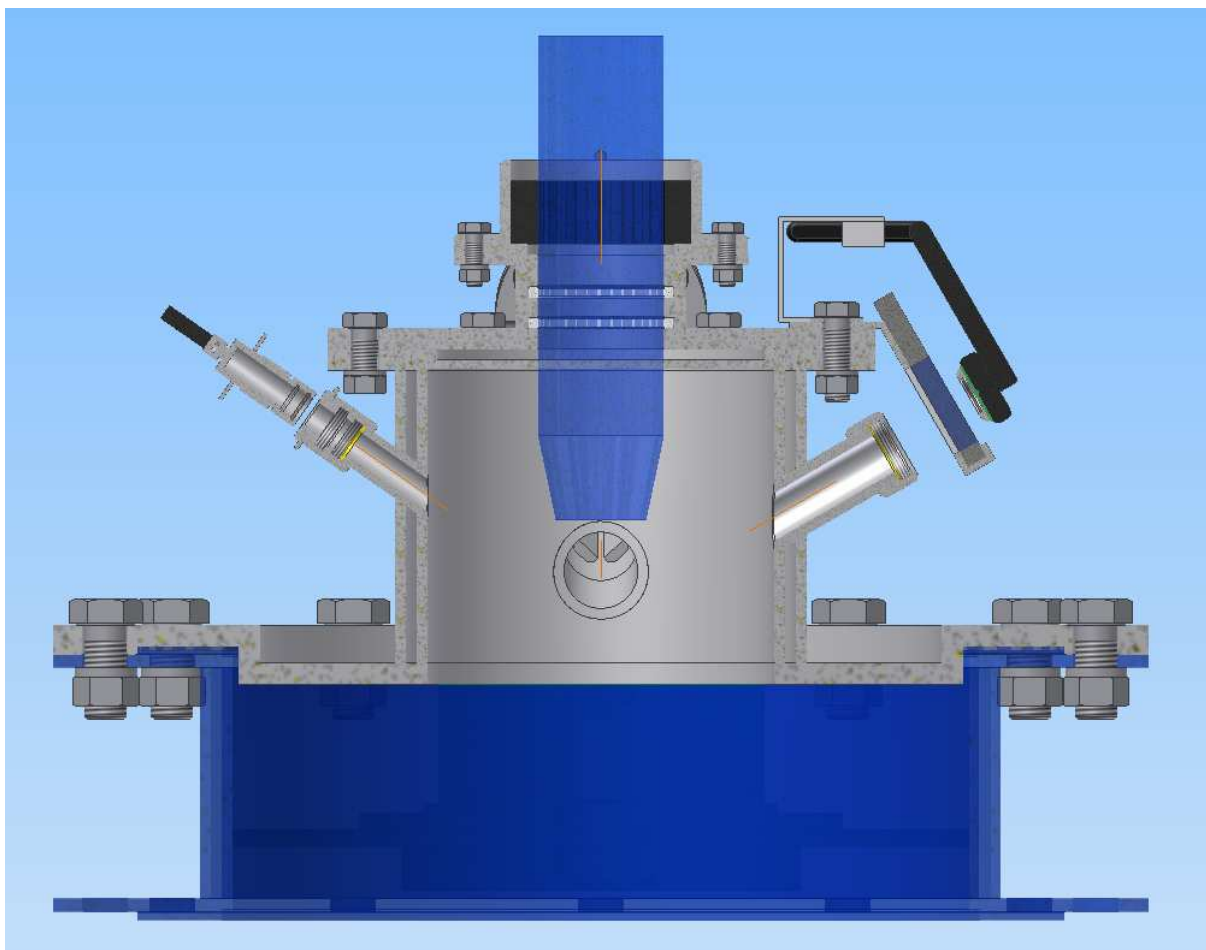
Obr.10 Přední pohled - nárys



Obr. 11 Boční pohled – pravý bokorys



Obr.12 Řez nárysem



Obr. 13 Řez levým bokorysem

4. Výpočet chlazení pláště hořákové sekce

- při výpočtu chlazení pláště hořákové sekce budeme vycházet z toho, že tepelný výkon který produkuje plazmový hořák a který musí chladicí kapalina odvést je odhadnut na 20kW a teplota vstupní chladicí vody je určena na 15°C

Zvolené hodnoty:

$$P = 20000W$$

$$t_{H2Ovstup} = 15^{\circ}C$$

$$w = 3,5m.s^{-1}$$

$$a = 0,005m$$

$$b = 0,02m$$

$$r_1 = 0,0825m$$

$$r_2 = 0,0875m$$

4.01 Základní bilanční rovnice

-aby bylo možno ověřit správnost konečných výpočtů a funkčnost chladicího zařízení musí platit bilanční rovnice

- v této rovnici je použit zjednodušený výpočet prostupu tepla stěnou tzn. že po vypuštění neznámých hodnot vzorci místo s prostupem tepla stěnou k, počítáme se součinitelem přestupu tepla α

-dále vycházíme z předpokladu že místo s logaritmickým nárůstem teploty budeme počítat s lineárním, tím pádem se zjednoduší výpočet středního teplotního spádu

$$P = \dot{m} \cdot c_{p_{H2O}} \cdot \Delta t_{H2O} = \alpha \cdot S_k \cdot \Delta \bar{t} \quad [2]$$

-kde P [W].....tepelný výkon, $P=20000W$

\dot{m} [kg.s⁻¹]......hmotnostní tok vody

$c_{p_{H2O}}$ [J.kg⁻¹.K⁻¹]...... měrná tepelná kapacita za stejného tlaku

Δt_{H20}	[°C].....	rozdíl teplot na vstupu a výstupu
α	[W.m ⁻² .K ⁻¹].....	součinitel přestupu tepla
S_k	[m ²].....	teplosměnná plocha chladicího kanálu
$\overline{\Delta t}$	[°C].....	střední teplotní spád

4.02 Hmotnostní tok vody

$$\dot{m} = w \cdot S \cdot \rho_{H20} \quad [2]$$

kde	w	[m.s ⁻¹].....	rychlost proudění vody
	S	[m ²].....	průřez chladicího kanálu
	ρ_{H20}	[kg.m ⁻³].....	hustota vody

4.03 Průřez chladicího kanálu

$$S = a \cdot b \quad [2]$$

kde	a	[m].....	výška kanálu
	b	[m].....	šířka kanálu

4.04 Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

-při výpočtu vycházíme z části bilanční rovnice $P = \dot{m} \cdot c_{p_{H20}} \cdot \Delta t_{H20}$ do které dosadíme vztah pro hmotnostní tok vody

$$P = w \cdot a \cdot b \cdot \rho_{H20} \cdot c_{p_{H20}} \cdot \Delta t_{H20} \quad [2]$$

a následně vyjádříme teplotu Δt_{H20}

$$\Delta t_{H20} = \frac{P}{w \cdot a \cdot b \cdot \rho_{H20} \cdot c p_{H20}} \quad [2]$$

$$\Delta t_{H20} = \frac{20000}{3,5 \cdot 0,005 \cdot 0,02 \cdot 4181,8 \cdot 998} = 14^{\circ} C$$

4.05 Teplota výstupní chladicí vody

- vycházíme z vypočtené hodnoty Δt_{H20}

$$\Delta t_{H20} = t_{H20vystup} - t_{H20vstup} \quad [2]$$

-kde	$t_{H20vystup}$	[°C]	teplota výstupní chladicí vody
	$t_{H20vstup}$	[°C]	teplota vstupní chladicí vody

-vyjádříme $t_{H20vystup}$

$$t_{H20vystup} = \Delta t_{H20} + t_{H20vstup} \quad [2]$$

$$t_{H20vystup} = 14,5 + 15 = 29^{\circ} C$$

4.06 Součinitel přestupu tepla

-získáme jej vyjádření ze vztahů pro výpočet Nusseltova čísla

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_h}{\lambda_{H20}} \quad [2]$$

$$Nu = C \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \chi \quad [2]$$

-kde	Nu	[-]	Nusseltovo číslo
	C	[-]	konstanta

d_h	[m]	hydraulický průměr
λ_{H20}	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
χ	[-]	teplotní součinitel-u plynů a kapalin $\chi=1$
Pr	[-]	Prandtlovo kritérium

[2]

konstanta $C=0,023$ pro $1 < Pr \leq 150$ a $10^4 < Re < 2 \cdot 10^5$

konstanta $C=0,021$ pro $Pr=0,7$ a $Re < 10^6$

-vyjádříme součinitel přestupu tepla α

$$\alpha = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \chi \cdot \frac{\lambda_{H20}}{d_h} \quad [2]$$

4.07 Reynoldsovo číslo

-s jeho pomocí lze určit, zda je proudění laminární nebo turbulentní

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H20}} \quad [2]$$

-kde ν_{H20} [m².s⁻¹] kinematická viskozita vody

4.08 Hydraulický průměr kanálu

-pomocí něj jsme schopni přepočítat nekuhový chladicí kanál na velikost kruhového

$$d_h = \frac{4S}{o} \quad [2]$$

-kde o [m] obvod chladicího kanálu

$$o = 2 \cdot (a + b) \quad [2]$$

-dosadíme vzorec pro obvod a průřez chladicího kanálu do vzorce pro hydraulický průměr

$$d_h = \frac{4 \cdot (a \cdot b)}{2 \cdot (a + b)} = \frac{2ab}{a + b} \quad [2]$$

$$d_h = \frac{2 \cdot 0,005 \cdot 0,02}{0,005 + 0,02} = 0,008m$$

-nyní můžeme dosadit do vzorce pro Reynoldsovo číslo a vypočítat typ proudění

$$Re = \frac{3,5 \cdot 0,008}{0,000001006} = 27833 \quad [2]$$

[2]

Laminární proudění	$Re < 2300$
Přechodová oblast	$2300 < Re < 10000$
Turbulentní proudění	$Re > 10000$

$$27833 > 10000 \quad \Rightarrow \text{proudění je turbulentní}$$

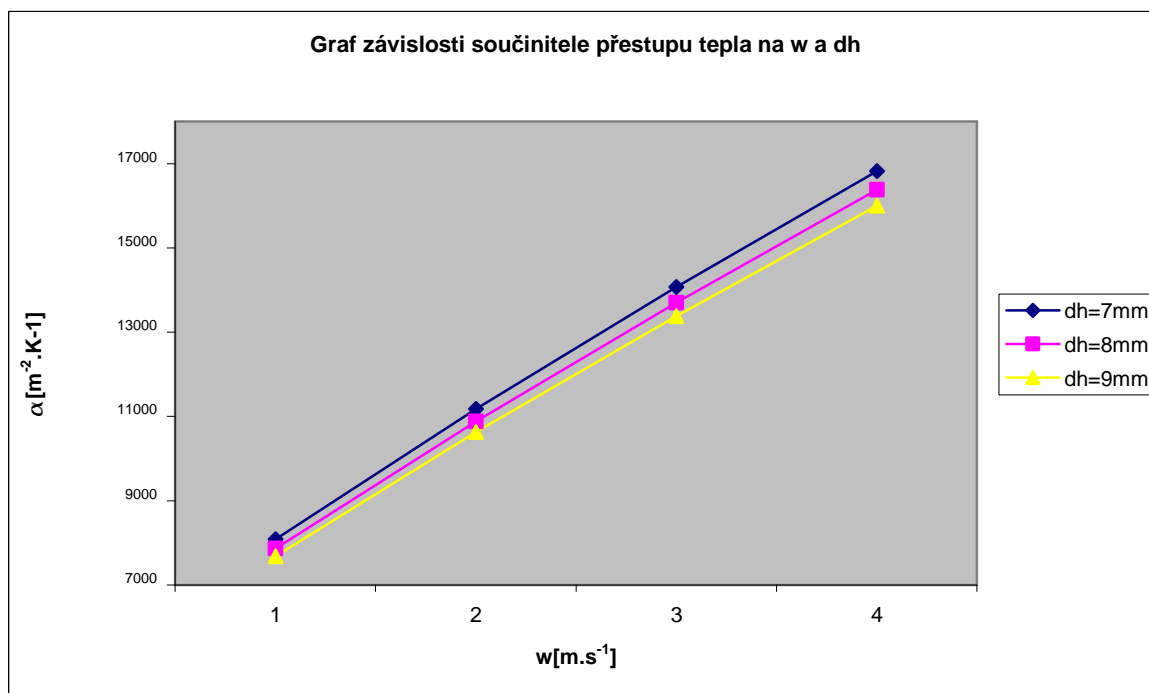
- teď už pro výpočet součinitele přestupu tepla potřebujeme Prandtlovo číslo

$$Pr = \frac{\nu_{H20}}{a_{H20}} \quad [2]$$

$$Pr = \frac{1,006 \cdot 10^{-6}}{1,43 \cdot 10^{-7}} = 7,035$$

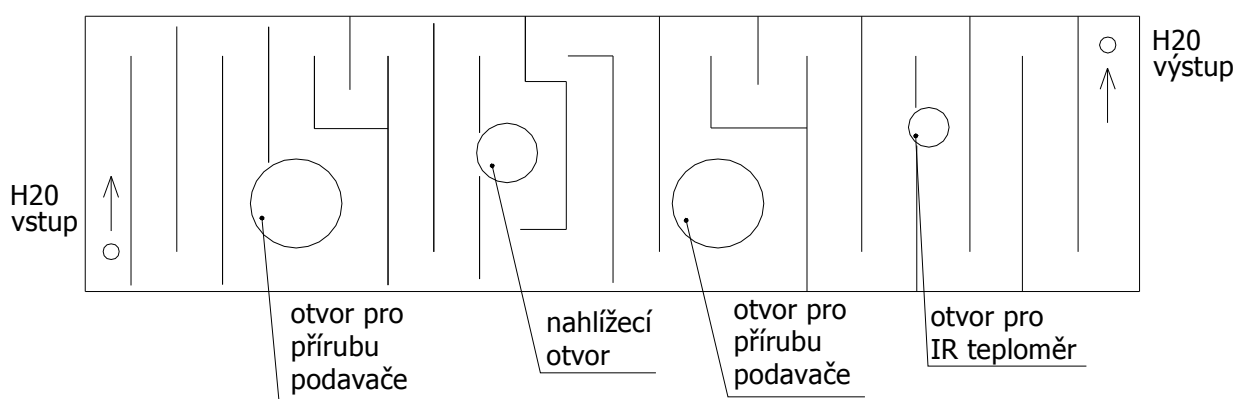
-nyní můžeme vypočítat součinitel přestupu tepla

$$\alpha = 0,021 \cdot 27833^{0,8} \cdot 7,035^{0,4} \frac{0,598}{0,008} = 12313,5W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$



Obr. 14 Graf závislosti součinitele přestupu tepla na rychlosti vody a hydraulickém průměru

4.09 Teplota vnější stěny pláště



Obr.15 Hrubé schéma chladicího kanálu

-délka chladicího kanálu byla odměřena v aplikaci AutoCAD 2007 $L_k=2,6\text{m}$

-pro určení vnější teploty stěny vyjdeme z části bilanční rovnice ze které si vyjádříme střední teplotní spád a vypočteme střední teplotu chladicí vody

$$P = \alpha \cdot S_k \cdot \Delta \bar{t}$$

$$\Delta \bar{t} = \frac{P}{\alpha \cdot S_k} \quad [2]$$

$$S_k = (a + 2b) \cdot L_k$$

-nyní vypočteme střední teplotu vody

$$t_{H20stř} = \frac{t_{H20vstu} + t_{H20vystup}}{2} \quad [2]$$

$$t_{H20stř} = \frac{15 + 29,5}{2} = 22^\circ C$$

$$\Delta \bar{t} = t_{střitni} - t_{H20stř}$$

-kde $t_{H20stř} \text{ } [^\circ C]$ střední teplota vody

-můžeme dosadit do rovnic a dopočítat teplotu chlazené strany pláště

$$t_{svnejsi} = \frac{P}{\alpha(a + 2b) \cdot L_k} + t_{H20stř} \quad [2]$$

$$t_{svnejsi} = \frac{20000}{12313,5 \cdot (0,005 + 2 \cdot 0,02) \cdot 2,6} + 22 = 35,9^\circ C = 36^\circ C$$

4.10 Teplota vnitřní stěny pláště

-vycházíme z lineární hustoty tepelného toku, tu získáme tak, že vztáhneme tepelný tok na jednotku délky válce a dále z vzorce pro prostup tepla válcovou stěnou

$$q_l = \frac{P}{l} \quad [2]$$

-kde l [m] výška pláště hořákové sekce

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_{svnitřni} - t_{svnější})}{\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [2]$$

-kde	$t_{svnitřni}$ [°C]	teplota vnitřní strany pláště
	$t_{svnější}$ [°C]	teplota vnější strany pláště
	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla stěny
	r_1 [m]	poloměr vnitřní strany pláště
	r_2 [m]	poloměr vnější strany pláště

-volím $\lambda = 21,2$ pro nerezovou ocel chromovou martenzitickou

$$t_{svnitřni} = t_{svnější} + \frac{P \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \right)}{\pi \cdot l} \quad [2]$$

$$t_{svnitřni} = 36 + \frac{20000 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 21,2} \cdot \ln \frac{0,0875}{0,0825} \right)}{\pi \cdot 0,139}$$

$$t_{svnitřni} = 99,5^\circ C$$

4.11 Kontrola chlazení pomocí bilanční rovnice

-vyjdeme z bilanční rovnice, rozdělíme ji na jednotlivé vzorce a dosadíme čísla

-pokud jsou výpočty pořádku tak by měl být vypočtený tepelný výkon z obou rovnic přibližně stejný

$$P = \dot{m} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta t_{H_{20}} = \alpha \cdot S_k \cdot \bar{\Delta t} \quad [2]$$

$$P = \dot{m} \cdot c_{p_{H_{20}}} \cdot \Delta t_{H_{20}}$$

$$P = w \cdot a \cdot b \cdot \rho \cdot c_{p_{H_{20}}} \cdot \Delta t_{H_{20}}$$

$$P = 3,5 \cdot 0,005 \cdot 0,02 \cdot 998 \cdot 4181,8 \cdot 14 = 20449,8W$$

$$P = \alpha \cdot S_k \cdot \bar{\Delta t}$$

$$P = \alpha \cdot (a + 2b) Lk \cdot (t_{svnější} - t_{H_{20}stř})$$

$$P = 12313,5 \cdot (0,005 + 2 \cdot 0,02) \cdot 2,6 \cdot (36 - 22) = 20169,5W$$

-z výsledků výpočtů bilančních rovnic vyplývá že chlazení vyhovuje požadavkům

5. Výpočet chlazení víka hořákové sekce

-vycházíme ze stejných předpokladů jak v předchozím výpočtu chlazení pláště

-tepelný výkon který působí na víko je odhadnut na $P_v=7000W$

-jelikož vycházíme ze stejných vzorců tak v tomto výpočtu nebudou uvedeny odvození ale bude již dosazeno do vyjádřeného vzorce

$$P_v = \dot{m} \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta t_{H_{20V}} = \alpha_1 \cdot S_{k1} \cdot \bar{\Delta t}_1 \quad [2]$$

-kde	P_v	[W].....tepelný výkon, $P=700\text{W}$
	\dot{m}	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$hmotnostní tok vody
	c_{pH20}	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ měrná tepelná kapacita za stejného tlaku
	Δt_{H20V}	$[\text{°C}]$ rozdíl teplot na vstupu a výstupu
	α_1	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$součinitel přestupu tepla
	S_{k1}	$[-]$ teplosměnná plocha chladicího kanálu
	$\bar{\Delta t}_1$	$[\text{°C}]$ střední teplotní spád

5.01 Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

$$\Delta t_{H20V} = \frac{P_v}{w \cdot a \cdot b \cdot \rho_{H20} \cdot c_{pH20}} \quad [2]$$

$$\Delta t_{H20V} = \frac{7000}{3,5 \cdot 0,005 \cdot 0,02 \cdot 4181,8 \cdot 998} = 5^\circ \text{C}$$

5.02 Teplota výstupní chladicí vody

$$t_{H20vystup1} = \Delta t_{H20V} + t_{H20vstup} \quad [2]$$

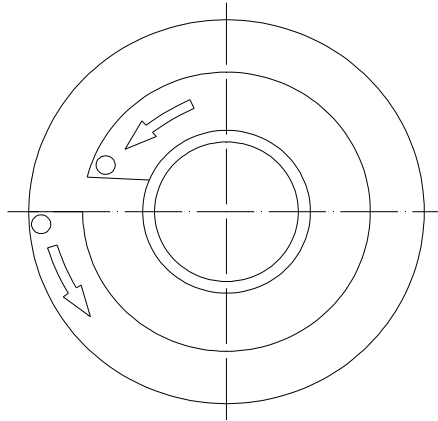
$$t_{H20vystup1} = 5 + 15 = 20^\circ \text{C}$$

5.03 Součinitel přestupu tepla

$$\alpha = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot \chi \cdot \frac{\lambda_{H20}}{d_h} \quad [2]$$

$$\alpha = 0,021 \cdot 27833^{0,8} \cdot 7,035^{0,4} \frac{0,598}{0,008} = 12313,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.04 Teplota vnější stěny pláště



Obr.16 schéma víka s chladícím kanálem

$$t_{H20stř1} = \frac{t_{H20vstup} + t_{H20vystup1}}{2}$$

[2]

$$t_{H20stř1} = \frac{15 + 20}{2} = 17,5^{\circ} \text{ C}$$

- délka kanálu byla opět odečtena ze schématu v programu AutoCAD 2007 a její hodnota $Lk_1=0,757\text{m}$

$$t_{svnejsi1} = \frac{P_1}{\alpha_1 \cdot (a + 2b) \cdot Lk_1} + t_{H20stř1}$$

[2]

$$t_{svnejsi1} = \frac{7000}{12313,5 \cdot (0,005 + 2 \cdot 0,02) \cdot 0,757} + 17,5 = 34,2^{\circ} \text{ C}$$

5.05 Teplota vnitřní stěny pláště

- zde vycházíme ze vzorce pro sdělené teplo rovinnou stěnou

$$q = \frac{t_{\text{svnitřní}} - t_{\text{svnější}}}{\frac{l_v}{\lambda}} = \frac{P_v}{S_v} \quad [2]$$

-kde l_v [m] tloušťka stěny víka-voleno 0,004m
 S_v [m²] teplosměnná plocha víka

$$S_v = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

$$S_v = \frac{\pi \cdot (0,165^2 - 0,072^2)}{4} = 0,0173 \text{ m}^2$$

-kde D [m] vnitřní průměr pláště
 d [m] průměr stěny kolem hořáku

$$t_{\text{svnitřní}} = \frac{l_v}{\lambda} \cdot \frac{P_1}{S_v} + t_{\text{svnější}} \quad [2]$$

$$t_{\text{svnitřní}} = \frac{0,004 \cdot 7000}{21,2 \cdot 0,0173} + 34,2 = 96^\circ \text{ C}$$

5.06 Kontrola chlazení pomocí bilanční rovnice

-vyjdeme z bilanční rovnice, rozdělíme ji na jednotlivé vzorce a dosadíme čísla

-pokud jsou výpočty pořádku tak by měl být vypočtený tepelný výkon z obou rovnic přibližně stejný

$$P_v = \dot{m} \cdot c_{p_{H2O}} \cdot \Delta t_{H2O}$$

$$P_v = w \cdot a \cdot b \cdot \rho \cdot c_{p_{H2O}} \cdot \overline{\Delta t} \quad [2]$$

$$P_v = 3,5 \cdot 0,005 \cdot 0,02 \cdot 998 \cdot 4181,8 \cdot 5 = 7303,5 \text{ W}$$

$$P_V = \alpha \cdot S_k \cdot \overline{\Delta t}$$

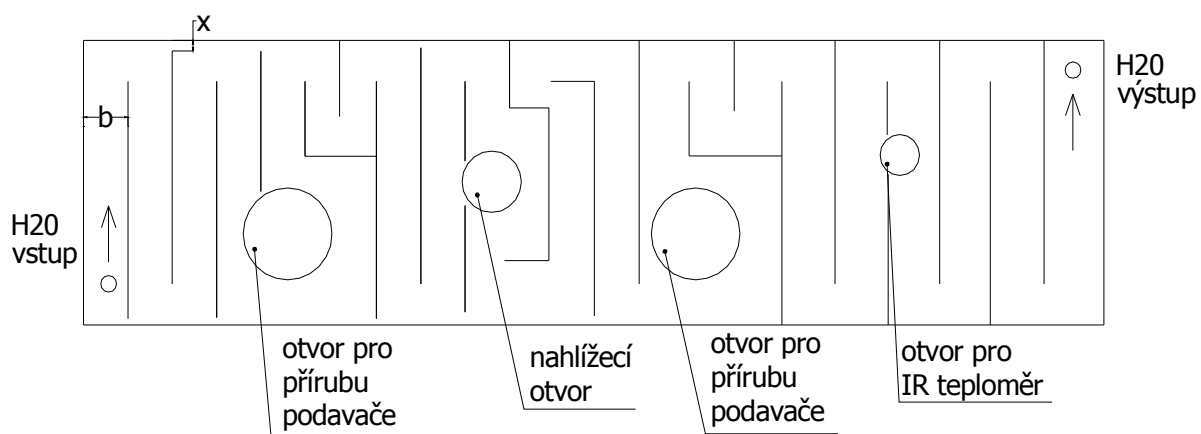
$$P_V = \alpha \cdot (a + 2b) Lk_1 \cdot (t_{\text{synejsi}} - t_{H20stř1}) \quad [2]$$

$$P_V = 12313,5 \cdot (0,005 + 2 \cdot 0,02) \cdot 0,757 \cdot (34,2 - 17,5) = 7005,3W$$

-z výsledků výpočtů bilančních rovnic vyplývá že chlazení vyhovuje požadavkům

6. Výpočet tlakových ztrát

6.01 Schéma rozvinutého pláště s chladícím kanálem



Obr.17 Hrubé schéma rozvinutého pláště s chladícím kanálem

- rozměr x je odsazení od konců pláště z důvodu zabránění tvorby bublinek, které by se mohly kumulovat v rozích a způsobovat špatné vychlazování

6.02 Výpočet celkové tlakové ztráty

$$\Delta p_z = \Delta p_{ztr} + \Delta p_{zm} \quad [3]$$

-kde Δp_z [Pa] celková tlaková ztráta

$\Delta p_{zř}$ [Pa] celkové ztráty třením

Δp_{zm} [Pa] celkové místní ztráty

6.03 Výpočet třecích ztrát

6.3.1 Stanovení součinitele tření

$$\Lambda = \frac{A}{Re^n} \quad [3]$$

$$\Lambda = \frac{0,129}{27833^{0,12}} = 0,0377$$

A-pro drsné kovové potrubí A=0,129

n-pro drsné kovové potrubí n=0,12

- kde	Λ	[-]	součinitel tření
	A	[-]	koeficient
	n	[-]	koeficient

6.3.2 Výpočet tlakové ztráty třením

$$\Delta p_{z,tř} = \Lambda \cdot \frac{L_K}{d_h} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \cdot n \quad [3]$$

-nejprve vypočítáme dílčí třecí ztráty na jednotlivých rovných úsecích

$$\Delta p_{z,tř0,13} = 0,038 \frac{0,13}{0,008} \cdot \frac{3,5^2 998}{2} \cdot 13 = 48682,7 Pa$$

$$\Delta p_{z,tř0,5} = 0,038 \frac{0,05}{0,008} \cdot \frac{3,5^2 998}{2} \cdot 2 = 2880,6 Pa$$

$$\Delta p_{ztr0,6} = 0,038 \frac{0,06}{0,008} \cdot \frac{3,5^2 998}{2} \cdot 4 = 6913,5 Pa$$

$$\Delta p_{ztr0,9} = 0,038 \frac{0,09}{0,008} \cdot \frac{3,5^2 998}{2} \cdot 2 = 5185 Pa$$

-kde	Δp_{ztr}	[Pa]	celková tlaková ztráta třením
	$\Delta p_{ztr0,13}$	[Pa]	tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,13
	$\Delta p_{ztr0,5}$	[Pa]	tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,05
	$\Delta p_{ztr0,6}$	[Pa]	tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,06
	$\Delta p_{ztr0,9}$	[Pa]	tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,09
	n	[-]	počet úseků

-nyní můžeme vypočíst celkovou ztrátu třením

$$\Delta p_{ztr} = \Delta p_{ztr0,13} + \Delta p_{ztr0,05} + \Delta p_{ztr0,06} + \Delta p_{ztr0,09}$$

$$\Delta p_{ztr} = 48682,7 + 2880,6 + 6913,5 + 5185 = 63661,8 Pa$$

6.3.3 Tlaková ztráta místními odpory

Ztrátový součinitel místními odpory je závislý především na druhu místní ztráty, konstrukčních parametrech a na režimu proudění. V tabulkách je uveden druh místního odporu v navrženém kanálu a k němu přiřazená hodnota ztrátového součinitele ζ .

$$\Delta p_{z,m} = \zeta \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \cdot n_k \quad [3]$$

-kde	n_k	[-]	počet úseků-kolen s ostrým zaoblením
------	-------	-----	--------------------------------------

6.3.4 Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem

a) součinitel tření na vtoku s rozšířeným průřezem-dle tab.2

$$\xi_3 = \left[1 - \frac{S}{S_1} \right]^2$$

[3]

$$\xi_3 = \left[1 - \frac{5,027 \cdot 10^{-5}}{0,0001} \right]^2 = 0,25$$

-kde	ξ_3	[-]	součinitel tření na vtoku
	S	[m ²]	průřez vtoku
	S ₁	[m ²]	průřez chladicího kanálu

-hodnoty S a S₁ byly získány z výkresu aplikace AutoCAD 2007

b) výpočet tlakové ztráty na vstupním průřezu

$$\Delta p_{Zvst} = \xi_3 \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}$$

$$\Delta p_{Zvst} = 0,25 \cdot \frac{3,5^2 \cdot 998}{2} = 1528,19 Pa$$

6.3.5 Ztráta v kolenu s ostrým ohybem 90°

a) součinitel místní ztráty v ohybu 90°

dle tab.1

[3]

$$\xi_6 = A \cdot B \cdot C$$

A=1,1

B=1

$$\xi_6 = 1,1 \cdot 1 \cdot 1,04 = 1,144$$

C=1,04

-kde ξ_3 [-] součinitel tření na vtoku
 n_{k90} [-] počet kolen s ostrým ohybem 90°

b) výpočet místní ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

$$\Delta p_{zm90} = \xi_6 \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \cdot n_{k90}$$

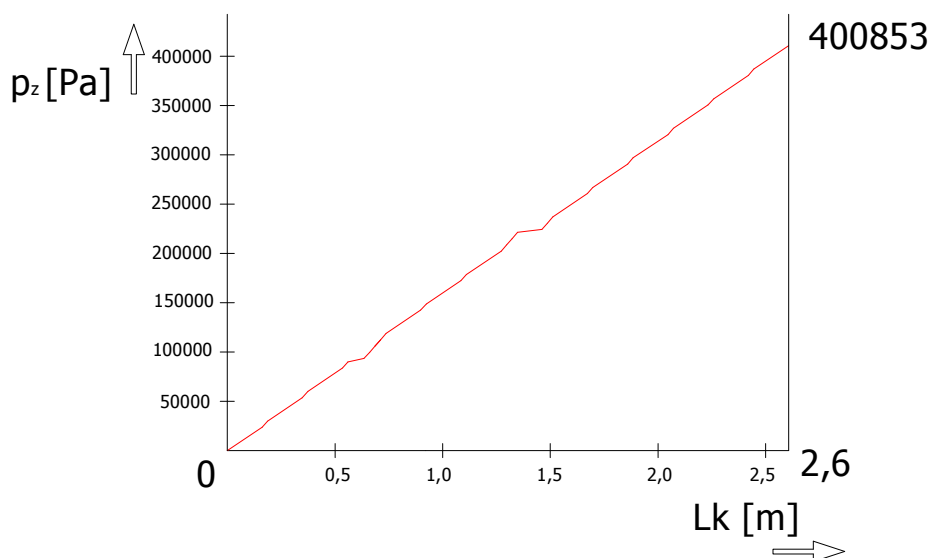
$$n_{k90}=48 \quad [3]$$

$$\Delta p_{zm90} = 1,144 \cdot \frac{3,5^2 \cdot 998}{2} \cdot 48 = 335663,3 Pa$$

6.04 Celková tlaková ztráta:

$$\Delta p_z = \Delta p_{ztř} + \Delta p_{zmsl} + \Delta p_{zm90} \quad [3]$$

$$\Delta p_z = 63661,8 + 1528,19 + 335663,3 = 400853,29 Pa$$



Obr.18 Graf závislosti tlakové ztráty na délce kanál

7. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na zpracování zadaného tématu-návrhu hořákové sekce plazmové pece a jejích podavačů. Zejména jsem se zaměřil na výpočty ohledně chlazení vnitřního pláště pece, dále pak chlazení víka hořákové sekce, tlakové ztráty v chladicím obvodu a také na návrh výškově stavitelných podávacích zařízení. Při výpočtech chladicího okruhu jsem vycházel ze zadaného tepelného výkonu který přechází do stěn pláště a víka a je třeba jej odvést. Při tomto výpočtu jsem využil znalostí z termomechaniky a sdílení tepla-zvláště pak prostup tepla stěnou a výpočtu rekuperátorů. Výpočet zahrnoval při kontrole také upravenou a zjednodušenou tepelnou bilanci, která dokázala, zda je navržený chladicí okruh reálný. Vzhledem k velkému množství výpočtů a neznámých jsem pro výpočet hodnot využil tabulkový a výpočtový editor Microsoft Excel, který velmi usnadnil výpočet a návrh chladicího okruhu. Při návrhu podoby chladicího kanálu jsem využil kreslicí software AutoCAD 2007, ve kterém jsem řešil nejen návrh chladicího kanálu, ale s jeho pomocí jsem mohl snadno změřit i jeho délku. Při návrhu podávacího zařízení jsem vycházel z požadavku na možnost změny náklonu samotného podavače a výškového nastavení vsázky. Realizování těchto dvou uzlů nám dává možnost použít v podavači, respektive v plazmové peci různé druhy a velikosti vsázek. Při řešení úhlově stavitelného podavače jsem zvolil variantu přírubu s válcovou plochou po které se může podavač naklápět. Možnost výškového nastavení vsázky jsem vyřešil použitím mnou navrhnutého šroubu pojištěného ve vodících lištách pojistným kroužkem. Toto nám umožňuje jednoduše pomocí šroubováku nastavit výšku lišt dle potřeby. Z důvodu, aby se při nesprávném seřízení vodících lišt neohýbal pohybový šroub pohonné jednotky-lineárního aktuátoru, jsem navrhl kloubový úchyt vsázky, který případné nepřesnosti v nastavení vykompenzuje. Díky tomuto úchytu také odpadla potřeba přitláčet vsázku do vodících lišt a tudíž další komplikování konstrukce.

Při celkové konstrukci celku plazmové pece a podavačů jsem pracoval s programem Autodesk Inventor 2009, pomocí kterého jsem udělal kompletní 3D model celé sestavy. Výrobní výkres sestavy jsem vytvořil pomocí převedených 3D modelů do 2D a následným zpracováním v programu AutoCAD 2007.

8. Seznam použité literatury

[1] *Plazmové technologie* [online]. c2008 [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26494>.

[2] *Sdílení tepla a proudění*. [s.l.] : [s.n.], 1998. 180 s. ISBN 80-7078-549-7.

[3] VOMOČIL, Zdeněk, HAJKR, Zdeněk, JUREČKA, Pavel. *Cvičení do sdílení tepla a proudění*. [s.l.] : [s.n.], 2000. 102 s. ISBN 80-7078-793-7.

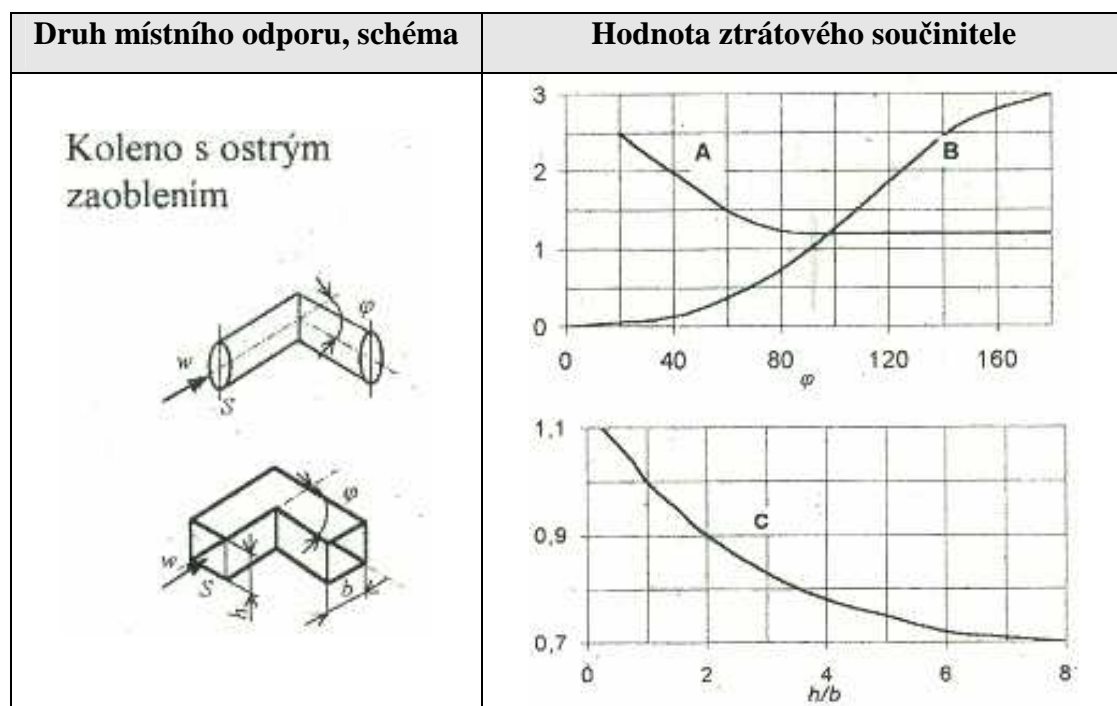
9. Přehled použitých veličin a jednotek

A	Koeficient	1
C	Konstanta	1
L _k	Délka chladicího kanálu	m
N	Koeficient	1
Nu	Nusseltovo číslo	1
P	Tepelný výkon	W
Pr	Prandtlovo číslo	1
P _v	Tepelný výkon na výko	W
Re	Reynoldsovo číslo	1
S	Zúžený průřez	m ²
S ₁	Rozšířený průřez	m ²
S _k	Průřez chladicího kanálu	m ²
S _{k1}	Průřez chladicího kanálu víka	m ²
S _v	Teplosměná plocha víka	m ²
a	Strana chladicího kanálku	m
a _{H2O}	Součinitel tepelné vodivosti vody	m ² .s ⁻¹
b	Strana chladicího kanálku	m
c _{pH2O}	Měrná tepelná kapacita vody při stálém tlaku	kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
d _h	Hydraulický průměr	m
l	Délka pláště	m
l _v	Tloušťka stěny víka	m
o	Obvod chladicího kanálku	m
Δp _z	Celková tlaková ztráta	Pa
Δp _{zm}	Místní tlaková ztráta	Pa
Δp _{ztř}	Tlaková ztráta třením	Pa
q _l	Lineární hustota tepelného toku	W.m ⁻¹

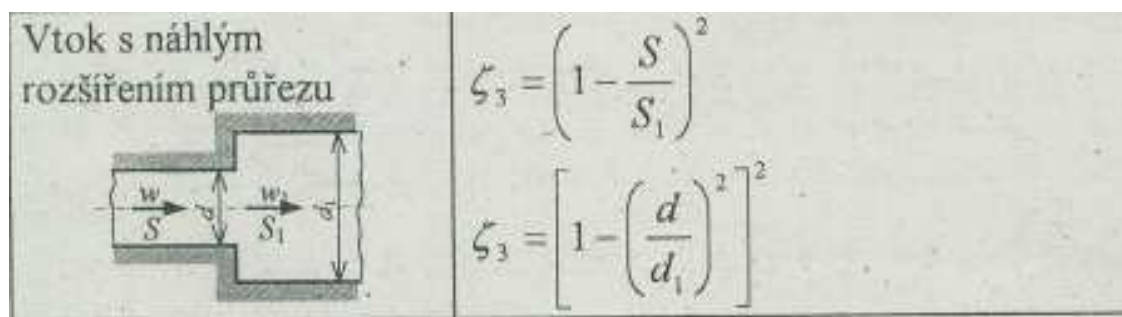
r_1	Vnitřní poloměr pláště	m
r_2	Vnější poloměr pláště	m
$\bar{\Delta t}$	Střední teplotní spád	°C
$\bar{\Delta t}_1$	Střední teplotní spád na víku	°C
Δt_{H20}	Rozdíl teplot na vstupu a výstupu	°C
Δt_{H20V}	Rozdíl teplot na vstupu a výstupu u víka	°C
t_{H20stf}	Teplota chladicí vody střední	°C
$t_{H20stf1}$	Teplota chladicí vody střední u víka	°C
$t_{H20vstup}$	Teplota chladicí vody na vstupu	°C
$t_{H20vystup}$	Teplota chladicí vody na výstupu	°C
$t_{H20vystup1}$	Teplota chladicí vody na výstupu u víka	°C
$t_{svnější}$	Teplota vnější strany pláště	°C
$t_{svnější1}$	Teplota vnější strany pláště u víka	°C
$t_{svnitřní}$	Teplota vnitřní strany pláště	°C
$t_{svnitřní1}$	Teplota vnitřní strany pláště u víka	°C
w	Rychlost chladicí vody	m.s ⁻¹
Λ	Součinitel tření	1
α	Součinitel přestupu tepla	W.m ⁻² .K ⁻¹
α_v	Součinitel přestupu tepla u víka	W.m ⁻² .K ⁻¹
λ_{H20}	Součinitel tepelné vodivosti vody	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
ξ	Ztrátový součinitel	1
ρ	Hustota vody	kg.m ⁻³
χ	Teplotní konstanta	1
\dot{m}	Hmotnostní tok vody	kg.s ⁻¹
\dot{m}	Hmotnostní tok vody	kg.s ⁻¹

10. Přílohy

Tab.1 Hodnoty součinitelů místních ztrát ζ [2]



Tab.2 Hodnoty součinitelů místních ztrát ζ [2]



11. Seznam obrázků

Obr. 1. Principiální schéma plazmových generátorů s elektrodami

Obr. 2. Princip plazmatronu

Obr. 3. Výroba wolframových kulovitých částic

Obr. 4. Zpracování oxidu hliníku Al_2O_3 na kulovité částice

Obr. 5. Výroba nanokrystalického povlaku

Obr. 6. Řez základního substrátu s nanokrytalickým povlakem TiO_2

Obr.7 Schéma technického systému

Obr.8 Funkční struktura-blokové schéma

Obr.9 Hrubá stavební struktura

Obr.10 Přední pohled – nárys

Obr. 11 Boční pohled – pravý bokorys

Obr.12 Řez nárysem

Obr. 13 Řez pravým bokorysem

Obr. 14 Graf závislosti součinitele přestupu tepla

Obr.15 Hrubé schéma chladicího kanálu

Obr.16 Schéma víka s chladícím kanálem

Obr.17Hrubé schéma rozvinutého pláště s chladícím kanálem

Obr.18Graf závislosti tlakové ztráty na délce kanálu